

Министерство образования и науки Российской Федерации

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Институт естественных наук

## **ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ**

Сборник контрольных вопросов и задач к семинарам  
для студентов 1 курса (бакалавриат),  
обучающихся по направлению подготовки «Химия»

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2015

УДК 544.3(076.1)

Составители: Л. Я. Гаврилова, Н. Е. Волкова, В. А. Черепанов

Под общей редакцией канд. хим. наук, доц. Л. Я. Гавриловой

**Основы химической термодинамики** : сборник контрольных вопросов и задач по темам семинаров / сост. Л. Я. Гаврилова, Н. Е. Волкова, В. А. Черепанов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 40 с.

Материалы сборника утверждены учебно-методической комиссией Института естественных наук (протокол № 38 от 15.05.2015 г.) и содержат контрольные вопросы и задачи по разным темам семинарских занятий.

Методические указания подготовлены кафедрой физической химии Института естественных наук

© Гаврилова Л. Я., Волкова Н. Е., Черепанов В. А., 2015

© Уральский федеральный университет, 2015

---

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

---

Сборник составлен в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования к освоению основных образовательных программ бакалавриата по направлению подготовки «Химия».

Издание содержит задания по разным темам, предназначенные для закрепления теоретического материала и формирования практических навыков по дисциплине «Основы химической термодинамики». Каждый раздел начинается с теоретических вопросов, ответы на которые необходимо знать для самостоятельного решения задач.

---

## **ЗАДАНИЯ К СЕМИНАРАМ ПО ТЕМЕ «ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ»**

---

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Дайте определения следующим понятиям:
  - а) термодинамическая система (изолированная, закрытая, открытая);
  - б) свойства системы (экстенсивные, интенсивные);
  - в) состояние системы, уравнение состояния;
  - г) процесс, циклический процесс;
  - д) внутренняя энергия системы;
  - е) теплота;
  - ж) работа;
  - з) теплоемкость (истинная, средняя, общая, удельная, молярная).
2. Что такое параметры состояния? Являются ли теплота, работа, температура, давление, внутренняя энергия функциями состояния?
3. Приведите уравнение состояния системы на примере идеального газа. Каков физический смысл универсальной газовой постоянной  $R$ ? Запишите ее значение в различных системах единиц (Дж/(моль·К), кал/(моль·К), л·атм/(моль·К)).
4. Сформулируйте первое начало термодинамики. Запишите аналитическое выражение. Поясните принятую систему знаков.
5. Выведите соотношения для вычисления теплоты, работы, изменения внутренней энергии для системы из  $n$  молей идеального газа в частных процессах (изотермическом, изохорическом, изобарическом, адиабатическом).
6. Каково соотношение между  $c_p$  и  $c_v$  для идеального газа?

### Задачи

1. В идеальном состоянии 1 моль газа изобарически нагревается от  $T_1$  до  $T_2$ . Напишите формулу для расчета изменения энтальпии газа в этом процессе, если теплоемкость в данном интервале температур постоянна.

2. 140 г азота находятся при 400 К и давлении 1 атм. Рассчитайте работу при изотермическом расширении газа (считая его идеальным) до объема 200 л.

3. Какое количество теплоты выделится при изотермическом сжатии 15 л идеального газа, первоначально находящегося при 36,8 °С и 1 атм, если его объем уменьшится в 5 раз?

4. 106,5 г хлора находятся при температуре 273 К и давлении 1 атм. Найдите изменение внутренней энергии и теплоту при изохорическом уменьшении давления до 0,6 атм.

5. 5 л криптона находятся при температуре 273 К и давлении 1 атм. Определите конечное давление газа и количество теплоты, затраченное на нагревание газа до 873 К при постоянном объеме.

6. 80 г кислорода при 27 °С занимают объем 5 л. Найти работу и конечный объем кислорода при изобарическом охлаждении на 3 °С.

7. Вычислите работу расширения при нагревании 2 г воздуха от 273 до 274 К при давлении 1 атм. Плотность воздуха считать равной 1,29 кг/м<sup>3</sup>.

8. Определить работу, совершенную 1 молею одноатомного идеального газа при адиабатическом расширении, если изменение температуры при этом составило –50 °С.

9. Определите работу при адиабатическом сжатии 0,01 м<sup>3</sup> азота до 0,1 первоначального объема, если начальная температура азота 26,8 °С и давление  $1,013 \cdot 10^5$  Па.

10. При начальных условиях 300 К и давлении 10 атм 8 г кислорода адиабатически расширяются до давления 1 атм. Вычислите конечную температуру и работу, совершенную кислородом.

11. Сколько потребуется теплоты, чтобы повысить температуру 10 г аргона ( $C_v = 3/2R$ ,  $M = 39,9$  г/моль) на  $10^\circ\text{C}$  а) при постоянном объеме, б) при постоянном давлении?

12. Определите изменение энтальпии при нагревании 0,064 кг газообразного метилового спирта от 300 до 700 К, пользуясь данными справочника.

13. Изобразите графически в координатах  $P$ - $V$ ,  $P$ - $T$ ,  $V$ - $T$  термодинамический цикл, включающий последовательно следующие процессы:  $1 \Rightarrow 2$  — изотермическое расширение,  $2 \Rightarrow 3$  — изобарическое охлаждение,  $3 \Rightarrow 1$  — адиабатическое сжатие. Рассчитайте аналитически и графически работу, теплоту и изменение внутренней энергии цикла.

14. В каком из процессов расширения идеального газа от объема  $V_1$  до объема  $V_2$  работа будет больше: изотермическом или изобарическом? (Начальные условия обоих процессов  $T_1$  и  $P_1$  одинаковы).

15. Изобразите графически в координатах  $P$ - $V$ ,  $P$ - $T$ ,  $V$ - $T$  термодинамический цикл, включающий последовательно следующие процессы:  $1 \Rightarrow 2$  — адиабатическое расширение,  $2 \Rightarrow 3$  — изохорическое нагревание,  $3 \Rightarrow 1$  — изотермическое сжатие. Рассчитайте аналитически и графически работу, теплоту и изменение внутренней энергии цикла.

16. В каком из следующих четырех процессов работа расширения наибольшая:

а) 1 кмоль  $\text{CO}_2$  расширяется изотермически при 300 К от 10 до 100 м<sup>3</sup>;

б) 1 кмоль  $\text{H}_2$  расширяется изотермически при 1000 К от 10 до 100 м<sup>3</sup>;

в) 4 кмоль  $\text{CO}_2$  расширяются изобарически при нагревании от 300 до 550 К;

г) 2 кмоль  $\text{H}_2$  расширяются изобарически при нагревании от 300 до 1300 К?

17. Изобразите графически термодинамический цикл, включающий последовательно следующие процессы:  $1 \Rightarrow 2$  —

изотермическое расширение;  $2 \Rightarrow 3$  — изобарическое охлаждение;  $3 \Rightarrow 1$  — изохорическое нагревание в координатах  $P$ - $V$ ,  $V$ - $T$  и  $P$ - $T$ .

18. Изобразите графически термодинамический цикл, включающий последовательно следующие процессы:  $1 \Rightarrow 2$  — изобарическое нагревание,  $2 \Rightarrow 3$  — изохорическое охлаждение,  $3 \Rightarrow 4$  — изобарическое охлаждение,  $4 \Rightarrow 1$  — изотермическое сжатие в координатах  $P$ - $V$ ,  $V$ - $T$  и  $P$ - $T$ .

19. Плотность оксида углерода (II) при  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $7,10\text{ кг/м}^3$ . Определите концентрацию и давление газа.

20. Плотность вещества  $X$  при  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $70\text{ мм.рт.ст.}$  равна  $1,85\text{ кг/м}^3$ . Какова молярная масса этого вещества?

21. При  $373\text{ K}$  и стандартном давлении конденсируется  $0,430\text{ кг}$  водяного пара. Теплота испарения воды  $2253\text{ кДж/кг}$ . Вычислите работу, тепловой эффект и изменение внутренней энергии при конденсации данного количества водяного пара, считая, что пар подчиняется закону идеального газа.

22. Неизвестное твердое вещество массой  $20\text{ г}$  помещено в колбу объемом  $2\text{ л}$ , из которой выкачан воздух. После нагревания колбы до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  вещество полностью превратилось в газ, а давление в колбе стало равным  $0,5065\text{ МПа}$ . Найдите молекулярную массу вещества.

23. В двух сосудах одинакового объема — по  $2\text{ л}$  каждый — при одинаковых давлениях содержатся: в первом —  $4\text{ г}$  кислорода, во втором —  $4\text{ г CO}_2$ . Одинаковы ли температуры этих газов? Если нет, то во сколько раз они различаются?

24. Вычислите изменение внутренней энергии при испарении  $50\text{ г}$  этилового спирта при температуре кипения и стандартном давлении, если удельная теплота испарения его равна  $857,7\text{ Дж/г}$ , а удельный объем пара при температуре кипения равен  $607 \cdot 10^{-3}\text{ л/г}$ . Объемом жидкости пренебечь.

25. Рассчитайте изменение внутренней энергии при испарении  $1\text{ кг}$  воды при стандартном давлении ( $T = 423\text{ K}$ ), если

теплота испарения воды равна 2110,0 кДж/кг. Считать пар идеальным газом и объемом жидкости пренебречь.

26. Молярная теплота испарения бензола равна 30,92 кДж/моль. Определите изменение внутренней энергии при испарении 200 г бензола ( $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Считать, что пары бензола подчиняются законам идеальных газов. Объем жидкости незначителен по сравнению с объемом пара, и им можно пренебречь.

27. Определите изменение внутренней энергии при испарении 100 г воды при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , допуская, что пары воды подчиняются законам идеальных газов и что объем жидкости незначителен по сравнению с объемом пара. Удельная теплота парообразования воды 2451 Дж/г.

28. Внутренняя энергия при испарении 90 г воды при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  возросла на 188,1 кДж. Удельный объем водяного пара равен 1,699 л/г, давление  $1,0133 \cdot 10^5$  Па (1 атм). Определите молярную теплоту парообразования воды (кДж/моль).

29. Найдите  $\Delta U$  при испарении 100 г бензола при температуре его кипения ( $80,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), приняв, что пары бензола подчиняются законам идеальных газов. Теплота испарения бензола 394 Дж/г. Объемом жидкости пренебречь.



---

## ЗАДАНИЯ К СЕМИНАРАМ ПО ТЕМЕ «ТЕРМОХИМИЯ»

---

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется тепловым эффектом реакции? Охарактеризуйте эндотермический, экзотермический эффекты. Что значит тепловой эффект реакции образования, сгорания вещества?

2. Сформулируйте эмпирический закон Гесса. Покажите, что он является следствием первого начала термодинамики.

3. Выведите следствия закона Гесса, применяемые для практических расчетов тепловых эффектов реакций, с использованием теплот образования и сгорания веществ.

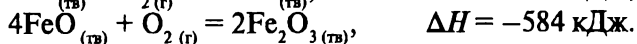
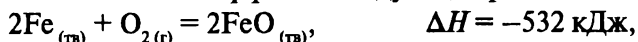
4. Что такое стандартные условия? Для чего они введены?

5. Как соотносятся тепловые эффекты реакции, проведенной при постоянном объеме и постоянном давлении? Может ли тепловой эффект при постоянном давлении равняться тепловому эффекту при постоянном объеме?

### Задачи

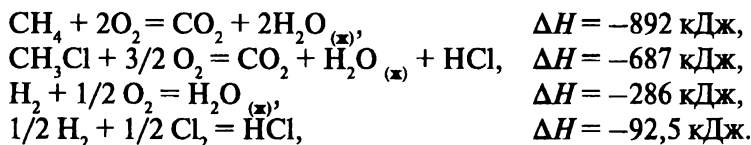
1. Рассчитайте тепловой эффект ( $\Delta H$ ) реакции

$4\text{Fe}_{(тв)} + 3\text{O}_{2(г)} = 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(тв)}$ , если при этой же температуре известны тепловые эффекты следующих реакций:



2. Рассчитайте тепловой эффект ( $\Delta H$ ) реакции

$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 = \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$ , если при этой же температуре известны тепловые эффекты следующих реакций:



3. Рассчитайте разницу между тепловыми эффектами реакции  $\text{C}_2\text{H}_{4(\text{газ})} + \text{Cl}_{2(\text{газ})} = \text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_{2(\text{газ})}$ , проведенной при постоянном давлении и при постоянном объеме при 298 К. Какова будет эта разница при 500 К?

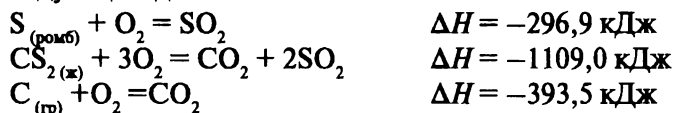
4. Тепловой эффект реакции  $\text{Mg}(\text{OH})_2 = \text{MgO} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ , протекающей в открытом сосуде при 400 К и  $1,0133 \cdot 10^5$  Па, составляет 89,03 кДж. Как будет отличаться от этого значения тепловой эффект, если реакцию проводить при той же температуре, но в закрытом сосуде?

5. Будут ли отличаться (если да, то вычислить, на сколько) тепловые эффекты при  $P = \text{const}$  и  $V = \text{const}$  (298 К) реакций:

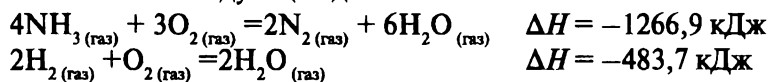


6. Будут ли отличаться (если да, то вычислить, на сколько) тепловые эффекты при  $P = \text{const}$  и  $V = \text{const}$  (298 К) реакции  $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ?

7. Рассчитайте теплоту образования жидкого сероуглерода по следующим данным:



8. Рассчитайте теплоту образования газообразного аммиака на основании следующих данных:



9. Стандартные теплоты образования  $\text{MgO}_{(\text{кр})}$  и  $\text{CO}_{2(\text{г})}$  соответственно равны  $-601,8$  и  $-393,5$  кДж/моль. Теплота реакции разложения  $\text{MgCO}_3$  на  $\text{MgO}$  и  $\text{CO}_2$  равна  $100,7$  кДж/моль. Используя эти данные, найдите теплоту образования  $\text{MgCO}_3$ .

10. Определите тепловой эффект реакции  
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})} + \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{ж})} = \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5_{(\text{ж})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ , если  
 теплоты сгорания равны соответственно:

$$\Delta H_{\text{сг}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})}) = -1366,7 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_{\text{сг}}(\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{ж})}) = -871,5 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_{\text{сг}}(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5_{(\text{ж})}) = -2254,2 \text{ кДж/моль}$$

11. Вычислите стандартную теплоту образования бензола  $\text{C}_6\text{H}_6$ , если стандартная теплота его сгорания равна  $-3301,3 \text{ кДж/моль}$ , а стандартные теплоты образования  $\text{CO}_2$  и жидкой воды соответственно равны:  $-393,5$  и  $-285,8 \text{ кДж/моль}$ .

12. При сжигании графита образовался оксид углерода (IV) массой  $8,86 \text{ г}$  и в результате выделилось  $79,2 \text{ кДж}$  тепла. Вычислите теплоту образования  $\text{CO}_2$ .

13. Навеску гидразина ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) массой  $1,5 \text{ г}$  сожгли в калориметрической бомбе. Температура калориметра при этом повысилась на  $5,85 \text{ К}$ . Какова молярная теплота сгорания гидразина в условиях опыта, если теплоемкость прибора равна  $8,837 \text{ кДж/К}$ ?

14. Определите стандартную теплоту образования сероуглерода  $\text{CS}_2$ , если известно, что

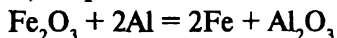


Теплоту сгорания углерода и теплоту сгорания серы возьмите в справочнике.

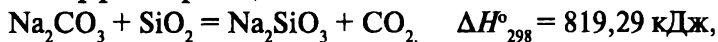
15. При взаимодействии  $5 \text{ г}$  металлического натрия с водой при стандартных условиях выделяется  $40,25 \text{ кДж}$  теплоты, а при взаимодействии  $10 \text{ г}$  оксида натрия с водой выделяется  $36,46 \text{ кДж}$  теплоты. Рассчитайте стандартную теплоту образования  $\text{Na}_2\text{O}$ , если стандартная теплота образования воды равна  $-285,84 \text{ кДж/моль}$ .

16. При растворении  $16 \text{ г}$   $\text{CaC}_2$  в воде выделяется  $31,3 \text{ кДж}$  теплоты. Определите стандартную теплоту образования  $\text{Ca(OH)}_2$ . Теплоты образования воды, карбида кальция и ацетилена возьмите в справочнике.

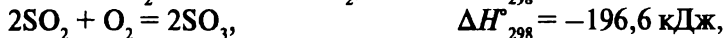
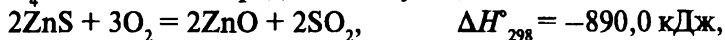
17. Используя справочные данные, определите, какое количество теплоты выделится (поглотится) при восстановлении 80 г оксида железа (III) по реакции



18. Сколько нужно затратить теплоты, чтобы разложить 200 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  до оксида натрия и диоксида углерода, если тепловые эффекты реакций:



19. Рассчитайте  $\Delta H_{298}^\circ$  реакции образования одного моля  $\text{ZnSO}_4$  из  $\text{ZnS}$  и кислорода по следующим данным:



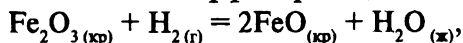
20. Найдите теплоту сгорания алмаза, если стандартная теплота сгорания графита равна  $-393,51 \text{ кДж/моль}$ , а теплота фазового перехода  $\text{C (графит)} \Rightarrow \text{C (алмаз)}$  равна  $1,88 \text{ кДж/моль}$ .

21. Теплота образования хлорида сурьмы (III) равна  $-383,5 \text{ кДж/моль}$ , а реакция взаимодействия  $\text{SbCl}_3$  с хлором протекает по уравнению:

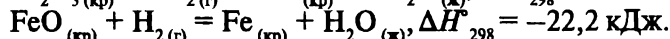
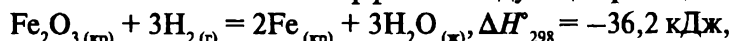


Вычислите теплоту образования  $\text{SbCl}_5$ .

22. Рассчитайте тепловой эффект реакции:



если известны тепловые эффекты следующих реакций:



23. Вычислите теплоту гидратации при переводе безводного сульфита натрия в  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , если теплоты растворения безводного и семиводного сульфитов натрия соответственно равны  $-11$  и  $+47 \text{ кДж/моль}$ .

24. Теплота растворения  $\text{CuSO}_4$  составляет  $-66,1 \text{ кДж/моль}$ , а теплота гидратации при переводе  $\text{CuSO}_4$  в  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  равна

–78,8 кДж/моль. Вычислите теплоту растворения  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

25. Теплоты растворения  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  соответственно равны: –84,85; –55,64 и 15,90 кДж/моль. Какова теплота гидратации при переходе

а)  $\text{MgSO}_4$  в  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;

б)  $\text{MgSO}_4$  в  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;

в)  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  в  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ?

26. Вычислите теплоту перехода графита в алмаз, если при образовании моля  $\text{CO}_2$  из графита выделяется 393,5 кДж/моль, а при образовании моля  $\text{CO}_2$  из алмаза выделяется 395,4 кДж/моль.

27. Теплоты образования воды жидкой и водяного пара соответственно равны: –285,8 и –241,8 кДж/моль. Рассчитайте теплоту испарения воды при 25 °С.

---

## **ЗАДАНИЯ К СЕМИНАРАМ ПО ТЕМЕ «ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ»**

---

### **Контрольные вопросы**

1. В чем недостаточность первого начала термодинамики?
2. Какой процесс называется обратимым? Дайте определение состоянию равновесия.
3. Приведите формулировки второго начала термодинамики.
4. Запишите второе начало термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
5. Является ли энтропия функцией состояния? Каким образом энтропия может служить критерием направленности процесса?
6. Запишите объединенное выражение первого и второго начал термодинамики.
7. Выведите выражения для расчета изменения энтропии в частных процессах (изотермическом, изохорическом и изобарическом, адиабатическом), а также для процессов фазовых переходов.
8. Можно ли рассчитать абсолютное значение энтропии вещества? Сформулируйте постулат Планка.

### **Задачи**

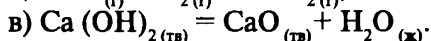
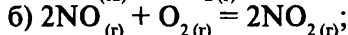
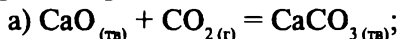
1. Постройте в координатах  $P$ - $V$ ,  $P$ - $T$ ,  $S$ - $\ln T$ ,  $S$ - $\ln P$  и  $S$ - $\ln V$  цикл, состоящий последовательно из следующих процессов: изохорического, адиабатического и изотермического. Приведите формулы для расчета изменения энтропии для 1 моля одноатомного идеального газа в указанных частных процессах.

2. Постройте в координатах  $P$ - $V$ ,  $P$ - $T$ ,  $S$ - $\ln T$ ,  $S$ - $\ln P$  и  $S$ - $\ln V$  цикл, состоящий последовательно из следующих процессов: изобарического, изохорического и адиабатического. Приведите формулы для расчета изменения энтропии для 1 моля одноатомного идеального газа в указанных частных процессах.

3. Изобразите графически термодинамический цикл, включающий последовательно следующие процессы: изотермическое расширение, изобарическое охлаждение и изохорическое нагревание в координатах  $S$ - $\ln V$ ,  $S$ - $\ln T$  и  $S$ - $\ln (P)$ .

4. Изобразите графически термодинамический цикл, включающий последовательно следующие процессы: изобарическое нагревание, изохорическое охлаждение, изобарическое охлаждение и изотермическое сжатие в координатах  $P$ - $V$ ,  $P$ - $T$ ,  $S$ - $\ln T$ ,  $S$ - $\ln P$  и  $S$ - $\ln V$ .

5. Используя справочные данные, рассчитайте изменение энтропии при 25 °С в следующих реакциях:



Можно ли по знаку  $\Delta S$  судить о направлении процессов в данном случае?

6. Два моля паров воды при 100 °С и давлении  $0,3 \cdot 10^5$  Па изотермически сжали до  $1,013 \cdot 10^5$  Па, далее конденсировали и охладили до 40 °С. Приняв, что молярная теплота испарения воды составляет 44 кДж/моль, а удельная теплоемкость жидкой воды равна 4,2 Дж/(г·К), рассчитайте изменение энтропии в этой системе.

7.  $4 \cdot 10^{-2}$  м<sup>3</sup> аргона, находящегося при 300 К и давлении  $1,013 \cdot 10^5$  Па, нагрели до 900 К. Найдите изменение энтропии системы, если молярная теплоемкость аргона  $C_v$  равна 12,6 Дж/(моль·К), а нагревание производилось при постоянном объеме.

8. Определите изменение энтропии в цикле, состоящем из изотермического расширения 1 моля идеального газа от

1 до 5 л при 298 К, изобарического охлаждения до 59,6 К и изохорического нагревания до 298 К.

9. Рассчитайте стандартную энтропию сгорания метана до диоксида углерода и жидкой воды при 25 °С.

10. Рассчитайте мольную энтропию двуокиси азота  $\text{NO}_2$  при 200 °С и  $40,52 \cdot 10^5$  Па, если мольная энтропия  $\text{NO}_2$  при стандартных условиях составляет 240,45 Дж/(моль·К).

11. Три моля идеального газа, занимающего объем 20 л, подвергаются изотермическому расширению. Какому конечному объему соответствует изменение энтропии, равное 114,86 Дж/К?

12. На сколько изменится энтропия в результате изотермического расширения 10 г криптона от 50 до 200 л, если начальное давление равно 1 атм? (Считать криптон идеальным газом).

13. Рассчитайте изменение энтропии аргона при расширении до  $1000 \text{ см}^3$ , если при 25 °С и давлении 1 атм он занимал объем  $500 \text{ см}^3$ .

14. 11,2 л азота нагревают от 0 до 50 °С при давлении 0,1 атм. Считая азот идеальным газом, найдите изменение энтропии.

15. Мольная теплоемкость бромистого калия  $C_p = 52,30$  Дж/(моль·К). Найдите изменение энтропии при обратимом нагревании 2 молей КВг от 298 до 500 К.

16. Найдите изменение энтропии при нагревании 0,5 молей сернистого кадмия от 173 до 273 К, если теплоемкость сернистого кадмия равна 47,32 Дж/(моль·К).

17. Рассчитайте изменение энтропии при превращении 0,1 кг жидкой воды в пар при 100 °С и давлении 1 атм. Удельная теплота конденсации воды в этих условиях равна  $-2,255 \text{ кДж/г}$ .

18. Как изменится энтропия при нагревании 96 г моноклинной серы от 25 до 200 °С, если теплоемкость моноклинной серы составляет 23,64 Дж/(моль·К).

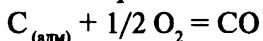
19. Определите изменение энтропии при нагревании  $0,0112 \text{ м}^3$  азота от 10 до 50 °С при давлении 1 атм. Теплоемкость азота равна 29,29 Дж/(моль·К).



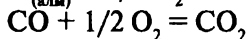
20. Вычислите изменение энтропии в процессе изотермического расширения 32 г метана от давления 1 атм до давления 0,1 атм. Газ считать идеальным.

21. Как изменится энтропия при нагревании 10 л водорода от 25 до 80 °С в изохорических условиях? Начальное давление 1 атм. Газ считать идеальным.

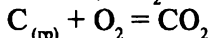
22. Чему равно стандартное изменение энтропии фазового перехода 1 моля графита в алмаз? Известны стандартные изменения энтропии в следующих процессах:



$$\Delta S^\circ = 93 \text{ Дж/К}$$



$$\Delta S^\circ = -87 \text{ Дж/К}$$



$$\Delta S^\circ = 3 \text{ Дж/К}$$

23. Используя справочные данные, рассчитайте изменение энтропии при синтезе 1 моля аммиака в стандартных условиях.

24. Рассчитайте изменение энтропии внешней среды при образовании 1 моля  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$  из простых веществ при стандартных условиях и 298 К.

25. Рассчитайте изменение энтропии внешней среды при образовании 1 моля  $\text{N}_2\text{O}_{4(\text{газ})}$  из 2 молей  $\text{NO}_{2(\text{газ})}$  при стандартных условиях и 298 К.

---

## **ЗАДАНИЯ К СЕМИНАРАМ ПО ТЕМЕ «ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ»**

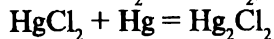
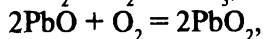
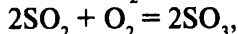
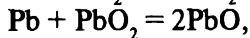
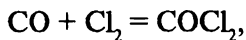
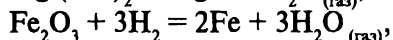
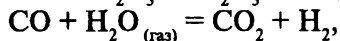
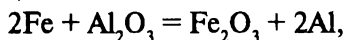
---

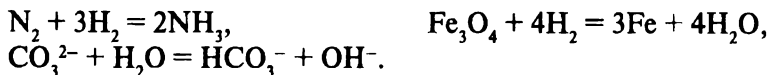
### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В чем недостаточность энтропии для использования ее в качестве критерия направленности самопроизвольных процессов?
2. Покажите, какие термодинамические функции и в каких условиях могут быть использованы в качестве критериев направленности для процессов химических взаимодействий.
3. Каким образом выбирается стандартное состояние?
4. Как можно оценить направление самопроизвольного протекания процесса с помощью таблиц стандартных термодинамических величин?
5. Что такое химический потенциал компонента? Дайте формулировку и запишите аналитическое выражение.

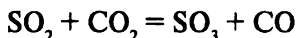
### **Задачи**

1. Пользуясь табличными данными, вычислите изменение энергии Гиббса при стандартных условиях и укажите в каком направлении будут самопроизвольно протекать следующие процессы:





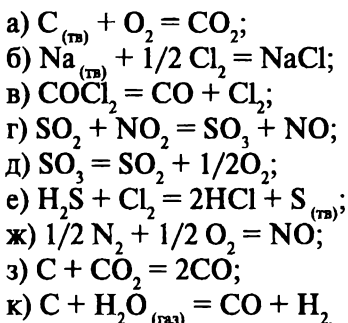
2. Рассчитайте стандартное изменение энергии Гиббса для реакции



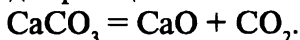
и укажите направление самопроизвольного ее протекания в этих условиях, если известно:



3. Пользуясь значениями  $\Delta H^\circ$  и  $S^\circ$ , вычислите  $\Delta G^\circ$  реакций:

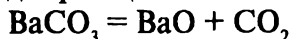


4. Рассчитайте стандартные изменения энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для реакции



Возможно ли самопроизвольное протекание этого процесса в стандартных условиях при 298 К? Оцените температуру разложения карбоната кальция при давлении углекислого газа 1 атм.

5. Рассчитайте стандартные изменения энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для реакции



Возможно ли самопроизвольное протекание этого процесса в стандартных условиях при 298 К? Оцените температуру разложения карбоната кальция при давлении углекислого газа 1 атм.

---

## ЗАДАНИЯ К СЕМИНАРАМ ПО ТЕМЕ «ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ»

---

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы критерии установления химического равновесия в системе? Запишите аналитическое выражение, отражающее состояние термодинамического равновесия.
2. Запишите уравнение изотермы химической реакции.
3. Что такое константа равновесия  $K_p$ ,  $K_c$ ? Имеется ли связь между константой равновесия и термодинамическими функциями?
4. Как соотносятся между собой  $K_p$  и  $K_c$ ?
5. Какие факторы влияют на величину константы равновесия?
6. Запишите аналитическое выражение, отражающее влияние температуры на константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$ .
7. Что называется степенью диссоциации вещества?
8. Каким образом можно сместить химическое равновесие?

### Задачи

1. Напишите выражения для констант равновесия  $K_p$  следующих обратимых химических реакций:

- а)  $\text{H}_{2(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{HCl}_{(g)}$ ;
- б)  $2\text{H}_2\text{O}_{(г)} \rightleftharpoons 2\text{H}_{2(г)} + \text{O}_{2(г)}$ ;
- в)  $\text{N}_{2(г)} + 3\text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(г)}$ ;
- г)  $\text{CO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(г)}$ ;
- д)  $\text{SO}_{3(г)} + \text{C}_{(тв)} \rightleftharpoons \text{SO}_{2(г)} + \text{CO}_{(г)}$ ;

- е)  $\text{CaCO}_3(\text{тв}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{тв}) + \text{CO}_2(\text{г})$ ;  
 ж)  $2\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + 3\text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$ ;  
 з)  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{тв}) + \text{CO}(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{FeO}(\text{тв}) + \text{CO}_2(\text{г})$ ;  
 и)  $\text{CaO}(\text{тв}) + 3\text{C}(\text{тв}) \rightleftharpoons \text{CaC}_2(\text{тв}) + \text{CO}(\text{г})$ ;  
 к)  $\text{H}_2(\text{г}) + \text{I}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{г})$ ;  
 л)  $4\text{HCl}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ .

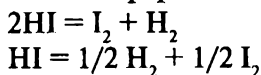
2. По значению констант равновесия для перечисленных ниже систем определите, в каком случае реакция протекает наиболее и наименее полно:

- а)  $\text{CO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2(\text{г})$   $K_c = 50$ ;  
 б)  $\text{H}^+ + \text{HS}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}$   $K_c = 1 \cdot 10^7$ ;  
 в)  $\text{Cd}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightleftharpoons \text{CdS}$   $K_c = 7 \cdot 10^{28}$ ;  
 г)  $\text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^- \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH}$   $K_c = 5,5 \cdot 10^4$ .

3. В системе  $\text{CO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2(\text{г})$  при температуре 300 К начальная концентрация CO и  $\text{Cl}_2$  была равна 0,28 и 0,09 моль/л. Равновесная концентрация CO равна 0,20 моль/л. Найдите константу равновесия.

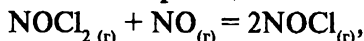
4. Найдите значение константы равновесия для реакции  $\text{A} + \text{B} = \text{C} + \text{D}$ , если при некоторой температуре исходные концентрации веществ A и B были равны 0,8 моль/л, а равновесная концентрация вещества C равна 0,6 моль/л.

5. При 444 °С константа равновесия реакции  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{г})$  равна 50. Определите, чему равна константа равновесия реакции диссоциации HI при той же температуре. Будет ли различаться константа равновесия для этой реакции, записанной в различной форме:



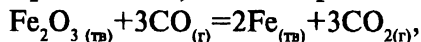
6. Некоторое количество двуокиси азота поместили в реактор, в котором при температуре 558 К установилось равновесие согласно реакции  $2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$ . Равновесные концентрации  $\text{NO}_2$  и NO составляют соответственно 0,06 и 0,24 моль/л. Найдите константу равновесия, исходную концентрацию и степень диссоциации  $\text{NO}_2$ .

7. Определите исходные концентрации  $\text{NOCl}_2$  и  $\text{NO}$  и константу равновесия химической реакции



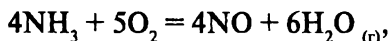
если при некоторой температуре равновесные концентрации  $\text{NOCl}_2$ ,  $\text{NO}$  и  $\text{NOCl}$  соответственно равны 0,05 моль/л, 0,55 моль/л и 0,08 моль/л, если начальная концентрация  $\text{NOCl}$  равна нулю.

8. В состоянии равновесия, согласно реакции



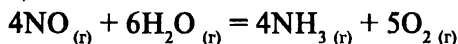
концентрация угарного газа была 1 моль/л, а углекислого газа — 2 моль/л. Вычислите исходную концентрацию угарного газа и константу равновесия реакции, если начальная концентрация  $\text{CO}_2$  равна нулю.

9. Определите константу равновесия  $K_c$  реакции при некоторой температуре



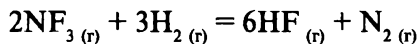
если исходные концентрации аммиака и кислорода соответственно равны 2 и 0,5 моль/л, а после установлении равновесия концентрация кислорода уменьшилась вдвое.

10. Для реакции



определите константу равновесия  $K_c$ , равновесную концентрацию аммиака и начальные концентрации (моль/л) реагентов, если при некоторой температуре равновесная концентрация  $\text{NO}$  была 3,86 моль/л, воды — 2,47 моль/л и кислорода — 1,35 моль/л.

11. Для реакции



определите константу равновесия  $K_c$ , равновесную концентрацию фтороводорода и начальные концентрации (моль/л) реагентов, если при некоторой температуре равновесная концентрация  $\text{NF}_3$  составила 0,73 моль/л, водорода — 1,06 моль/л и азота — 1,36 моль/л.

12. В системе  $\text{PCl}_{5(r)} = \text{PCl}_{3(r)} + \text{Cl}_{2(r)}$  равновесие при 500 К установилось, когда исходная концентрация  $\text{PCl}_5$ , равная

1 моль/л, уменьшилась до 0,46 моль/л. Найдите значения  $K_c$  и  $K_p$  этой реакции при указанной температуре.

13. Чему равна при 25 °С константа равновесия обратной реакции, для которой значение  $\Delta G^\circ$  в этих условиях равно: а) 5,714 кДж; б) –5,714 кДж?

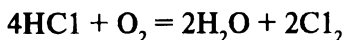
14. При 923 К константа равновесия системы  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$  равна единице. Начальные концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$  были соответственно равны 0,4 и 0,6 моль/л. Рассчитайте равновесные концентрации всех реагирующих веществ в момент равновесия.

15. Исходные концентрации  $\text{SO}_2$  и  $\text{O}_2$  в системе  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$  при некоторой температуре были соответственно равны 0,06 и 0,03 моль/л. К моменту установления равновесия концентрация  $\text{SO}_2$  стала равной 0,02 моль/л. Определите равновесные концентрации остальных реагирующих веществ.

16. Константа равновесия реакции  $\text{FeO}_{(тв)} + \text{CO}_{(г)} = \text{Fe}_{(тв)} + \text{CO}_{2(г)}$  при 1000 °С равна 0,5. Исходные концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  были соответственно равны 0,07 и 0,02 моль/л. Определите их равновесные концентрации.

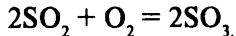
17. В реакторе при 494 °С смешаны  $\text{NO}$  и  $\text{O}_2$ . Константа равновесия реакции  $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$  равна 2,2 л/моль. Равновесные концентрации  $\text{NO}$  и  $\text{O}_2$  соответственно равны 0,03 и 0,02 моль/л. Рассчитайте их начальные концентрации.

18. Процесс получения хлора окислением хлористого водорода протекает по схеме



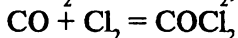
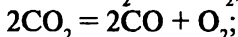
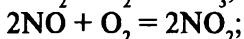
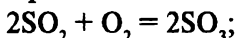
При смешении 1 моль хлороводорода с 0,48 моль кислорода образуется 0,402 моль хлора. Вычислить  $K_p$ , если в системе стандартное давление и температура 659 К.

19. В реакторе при некоторой температуре смешаны 4 моля оксида серы (IV) и 2 моля кислорода при давлении  $3,039 \cdot 10^5$  Па. После установления равновесия в смеси осталось 20 % взятого  $\text{SO}_2$ . Определите равновесные концентрации всех реагирующих веществ, давление, при котором установилось равновесие, и константу  $K_p$  реакции



20. В реактор объемом 11,42 л введены 2,43 моля  $\text{SO}_2$  и 2,17 моль  $\text{O}_2$ . При некоторой температуре в системе установилось равновесие согласно уравнению реакции  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ , при этом количество оксида серы (IV) уменьшилось на 1,85 моль. Рассчитайте константу равновесия.

21. Пользуясь таблицами стандартных термодинамических величин, рассчитайте константы равновесия следующих реакций при 298 К:



22. Для реакции  $\text{PCl}_5(\text{г}) = \text{PCl}_3(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г})$  при 250 °С  $K_p = 1,8 \cdot 10^5$  Па. Определите степень диссоциации  $\text{PCl}_5$  при этой температуре и общем давлении в системе  $1,013 \cdot 10^5$  Па.

23. При температуре 823 К и давлении  $1,013 \cdot 10^5$  Па степень диссоциации фосгена на окись углерода и хлор равна 77 %. Определить  $K_p$  и  $K_c$ .

24. Рассчитайте общее давление, которое необходимо приложить к смеси 3 частей  $\text{H}_2$  и 1 части  $\text{N}_2$  (по объему), чтобы получить равновесную смесь, содержащую 10 %  $\text{NH}_3$  по объему, при 400 °С. Константа равновесия для реакции  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$  при 400 °С  $K_p = 1,6 \cdot 10^{-4}$  атм.

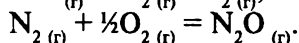
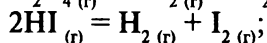
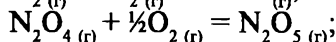
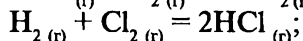
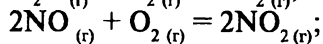
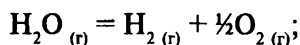
25. Константа равновесия  $K_p$  реакции  $\text{CO}_{(\text{г})} + 2\text{H}_{2(\text{г})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{г})}$  при 500 К равна  $6,09 \cdot 10^{-3}$  атм. Рассчитайте общее давление, необходимое для получения метанола с 90 %-ным выходом, если  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  взяты в соотношении 1:2.

26. Для реакции  $\text{I}_{2(\text{тв})} + \text{Br}_{2(\text{г})} = 2\text{IBr}_{(\text{г})}$  при температуре 25 °С константа равновесия  $K_p$  равна 0,164 атм. Газообразный бром вводится в сосуд, в котором находится избыток твердого йода. Давление 0,164 атм и температура 25 °С поддерживаются постоянными. Определите парциальные давления  $\text{IBr}$  и  $\text{Br}_2$  при



равновесии, считая, что давлением пара твердого йода можно пренебречь.

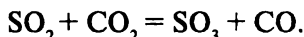
27. Во сколько раз различаются численные значения констант равновесия  $K_p$  и  $K_c$  при 300 К для следующих реакций:



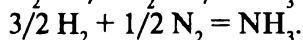
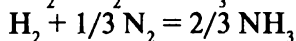
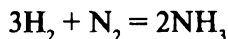
28. По известным значениям констант равновесия газовых реакций при 1000 К:



вычислите константу равновесия при той же температуре реакции:

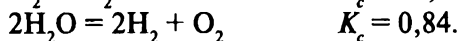
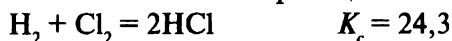


29. Реакция образования аммиака из простых веществ может быть записана различными способами следующим образом:

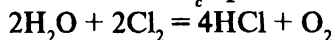


Будут ли численно различаться константы равновесия ( $T = \text{const}$ ), записанные для этих трех реакций, и почему?

30. При постоянной температуре определены константы равновесия гомогенных реакций:

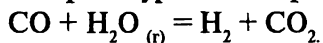


Рассчитайте  $K_c$  при той же температуре для реакции:



31. При температуре 1396 К и давлении 1 атм степень диссоциации водяного пара на водород и кислород равна

$0,567 \cdot 10^{-4}$ , а степень диссоциации двуокиси углерода на окись углерода и кислород при тех же условиях —  $1,551 \cdot 10^{-4}$ . Определите на основании этих данных состав водяного газа, образовавшегося при указанной температуре из равных объемов окиси углерода и водяного пара по уравнению реакции



---

## **ЗАДАНИЯ К СЕМИНАРАМ ПО ТЕМЕ «ТЕРМОДИНАМИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

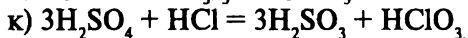
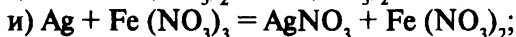
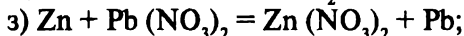
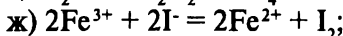
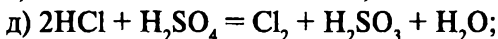
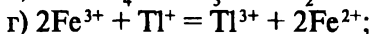
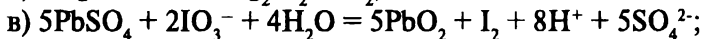
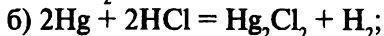
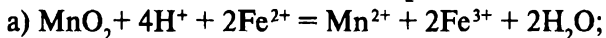
---

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте общее определение электрического потенциала.
2. В чем отличие в протекании реакции в электрохимическом элементе и обычном химическом сосуде?
3. Что означает термин «условный электродный потенциал»?
4. Какая реакция (окисления или восстановления) протекает на положительном электроде гальванического элемента?
5. Расскажите о правилах схематической записи электрохимического элемента.
6. Что вы можете сказать о химическом поведении электрохимической системы  $M^{z+} + ze = M$  в паре со стандартным водородным электродом, если ее стандартный электродный потенциал меньше нуля?
7. Как определить направление самопроизвольного протекания окислительно-восстановительной реакции, пользуясь величинами стандартных электродных потенциалов?
8. Может ли электрод, стандартный электродный потенциал которого отрицателен, быть положительным электродом в гальванической ячейке?
9. Запишите выражение для вычисления электродного потенциала.
10. Можно ли по величине ЭДС гальванического элемента вычислить изменение энергии Гиббса реакции, протекающей в этом элементе?

**Задача**

1. Пользуясь табличными значениями стандартных электродных потенциалов, определите направление следующих окислительно-восстановительных реакций:



2. Изобразите схемы гальванических элементов, в которых осуществляются реакции (а–к) задачи 1.

3. Рассчитайте изменение стандартной энергии Гиббса в реакциях (а–к) задачи 1.

4. Используя уравнения реакций (а–к) задачи 1, выпишите полуреакции, протекающие в сторону окисления. Пользуясь таблицами стандартных электродных потенциалов, подберите такую полуреакцию, в паре с которой выписанная вами реакция пойдет в сторону восстановления в стандартных условиях.

5. Используя уравнения реакций (а–к) задачи 1, выпишите полуреакции, протекающие в сторону восстановления. Пользуясь таблицами стандартных электродных потенциалов, подберите такую полуреакцию, в паре с которой выписанная вами реакция пойдет в сторону окисления в стандартных условиях.

6. В раствор, содержащий ионы  $\text{Co}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$ , опущен никелевый стержень. При каком соотношении концентраций ионов никель будет вытеснять ионы кобальта из раствора?

7. Рассчитать константу равновесия реакции диспропорционирования в водном растворе:



если  $\text{Cu}^{2+} + e = \text{Cu}^+ \quad \varphi^\circ = 0,15 \text{ В},$

$\text{Cu}^+ + e = \text{Cu} \quad \varphi^\circ = 0,52 \text{ В}.$

8. Для стандартных условий вычислите ЭДС элемента, составленного из электродов  $\text{Mn}^{2+}/\text{MnO}_4^-$  и  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_2$ , и напишите уравнение самопроизвольно протекающей реакции.

9. Составьте схемы двух гальванических элементов, в которых один из предложенных вам нижеперечисленных электродов (а–з по указанию преподавателя) был бы в первом случае отрицательным, а во втором случае — положительным электродом. Напишите уравнения реакций, протекающих при работе элементов, и вычислите значения стандартных ЭДС и  $\Delta G^\circ$ :

а)  $\varphi^\circ (\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,771 \text{ В};$

б)  $\varphi^\circ (\text{MnO}_4^-, \text{H}^+/\text{Mn}^{2+}) = 1,51 \text{ В};$

в)  $\varphi^\circ (\text{AgCl}/\text{Ag}, \text{Cl}^-) = 0,222 \text{ В};$

г)  $\varphi^\circ (\text{Cl}^-/\text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}) = 0,268 \text{ В};$

д)  $\varphi^\circ (\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,337 \text{ В};$

е)  $\varphi^\circ (\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,799 \text{ В};$

ж)  $\varphi^\circ (\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,36 \text{ В};$

з)  $\varphi^\circ (\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}) = 1,61 \text{ В}.$

10. Вычислите ЭДС гальванического элемента, составленного из стандартных цинкового и оловянного электродов.

11. Вычислите электродный потенциал цинка в растворе  $\text{ZnCl}_2$ , в котором концентрация ионов цинка составляет  $7 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

12. Потенциал марганцевого электрода, помещенного в раствор его соли, составил  $-1,1 \text{ В}$ . Вычислите концентрацию ионов  $\text{Mn}^{2+}$ .

13. Вычислите ЭДС элементов в стандартных условиях:

а)  $\text{Mn}|\text{MnSO}_4||\text{NiSO}_4|\text{Ni};$

б)  $\text{Zn}|\text{Zn}(\text{NO}_3)_2||\text{Pb}(\text{NO}_3)_2|\text{Pb};$

- в)  $\text{Fe}|\text{FeSO}_4 \parallel \text{CuSO}_4|\text{Cu}$ ;  
 г)  $\text{Pt}|\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+} \parallel \text{Co}^{2+}, \text{Co}^{3+}|\text{Pt}$ ;  
 д)  $\text{Ag}, \text{AgCl}|\text{KCl} \parallel \text{KOH}|\text{O}_2(\text{Pt})$ ;  
 е)  $\text{Ag}|\text{AgNO}_3 \parallel \text{Cu}^{2+}, \text{Cu}^+|\text{Pt}$ ;  
 ж)  $\text{Cd}|\text{CdCl}_{2(\text{p-p})}|\text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$ ;  
 з)  $\text{Pt}(\text{H}_2)|\text{HCl}_{(\text{p-p})}|\text{Cl}_2(\text{Pt})$ ;  
 и)  $\text{Pt}|\text{Mn}^{2+}, \text{MnO}_4^-, \text{H}^+ \parallel \text{Ni}(\text{NO}_3)_2|\text{Ni}$ ;  
 к)  $\text{Ag}, \text{AgCl}|\text{KCl}|\text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$ .

---

## ЗАДАНИЯ К СЕМИНАРАМ ПО ТЕМЕ «ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА»

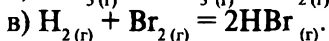
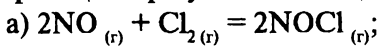
---

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение скорости химической реакции.
2. Сформулируйте основной постулат химической кинетики. Запишите его аналитическое выражение.
3. Что такое порядок химической реакции? Что такое молекулярность химической реакции? В чем разница этих понятий?
4. Каков физический смысл константы скорости химической реакции? Какова размерность константы скорости реакции?
5. Перечислите факторы, влияющие на скорость химической реакции.
6. Какие вы знаете способы определения константы скорости реакции?
7. Получите уравнения, описывающие кинетику реакции первого, второго и третьего порядков, из основного постулата химической кинетики.
8. Что такое время полупревращения (период полураспада)? Зависит ли оно от порядка реакции?

### Задачи

1. Рассчитайте, во сколько раз изменится скорость следующих реакций при увеличении давления в два раза:



2. Разложение  $N_2O_5$  является реакцией первого порядка, константа скорости которой составляет  $0,002 \text{ мин}^{-1}$ . Определить, сколько процентов  $N_2O_5$  разложится за 2 часа.

3. Скорость реакции  $A + 2B$  при концентрации  $A = 0,5 \text{ моль/л}$  и  $B = 0,6 \text{ моль/л}$  равна  $0,018 \text{ моль/(л·мин)}$ . Вычислить константу скорости реакции.

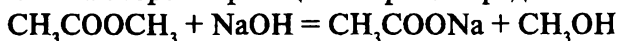
4. Как изменяется концентрация продукта реакции со временем, если она описывается уравнением нулевого порядка?

5. Какая из односторонних реакций первого, второго или третьего порядка проходит до конца быстрее при одинаковых исходных концентрациях и одинаковых значениях констант скоростей?

6. Рассчитайте константу скорости реакции первого порядка, учитывая, что за 25 мин реакция проходит на 25 %, т. е. прореагировала  $\frac{1}{4}$  исходных веществ.

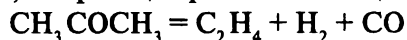
7. Константа скорости реакции первого порядка равна  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . Какое количество исходного вещества останется непрореагировавшим через 10 ч после начала реакции? Начальная концентрация равна  $1 \text{ моль/л}$ .

8. Константа скорости реакции второго порядка



равна  $5,4 \text{ л·мин}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$ . Какая молярная доля (%) эфира прореагирует за 15 мин, если исходные концентрации щелочи и эфира одинаковы и равны  $0,05 \text{ моль/л}$ ?

9. Покажите, что реакция разложения ацетона



является реакцией первого порядка, если концентрация ацетона ( $c$ ) изменяется во времени следующим образом:

$t, \text{ мин}$	0	15	30
$c, \text{ моль/л}$	25,4	9,83	3,81

10. Рассчитайте, за какое время реакция первого порядка с константой скорости  $0,01 \text{ мин}^{-1}$  пройдет на 30 %.



11. За какое время прореагирует 60 % вещества А по реакции второго порядка

$A + B = \text{продукты}$ ,

если исходные концентрации веществ А и В одинаковы и равны 0,08 моль/л, а константа скорости —  $8,5 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$ .

---

## ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

---

### «ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ»

2)  $W = 3,3$  кДж; 3)  $Q = -2,45$  кДж; 4)  $\Delta U = Q = -3,4$  кДж;  
5)  $P = 3,2$  атм,  $Q = 1,67$  кДж; 6)  $W = -62$  Дж,  $V = 4,95$  л.;  
7)  $W = 0,6$  Дж; 8)  $W = 623,6$  Дж; 9)  $W = -3,8$  кДж;  
10)  $T = 155$  К,  $W = 753,5$  Дж; 11)  $Q_v = 31,2$  Дж,  $Q_p = 52$  Дж;  
12)  $47,7$  кДж; 19)  $C = 254$  моль/ $\text{м}^3$ ,  $P = 2,26 \cdot 10^6$  Па; 20)  $M =$   
 $= 491$  г/моль; 21)  $W = -74,1$  кДж,  $Q = -968,8$  кДж,  $\Delta U = -894,7$  кДж;  
22)  $M = 69,43$  г/моль; 23) в  $1,375$  раз больше для  $\text{CO}_2$ ;  
24)  $\Delta U = 39,81$  кДж; 25)  $\Delta U = 1914,6$  кДж; 26)  $\Delta U = 73,04$  кДж;  
27)  $\Delta U = 231,6$  кДж; 28)  $\Delta H = 40,719$  кДж/моль; 29)  $\Delta U =$   
 $= 35,64$  кДж

### «ТЕРМОХИМИЯ»

1)  $\Delta H = -1648$  кДж; 2)  $\Delta H = -104$  кДж; 3) (а)  $Q_p - Q_v = -2,48$  кДж,  
(б)  $Q_p - Q_v = -4,16$  кДж; 4) меньше на  $3,33$  кДж; 5) (а)  $Q_p - Q_v = 0$ ,  
(б)  $Q_p - Q_v = -1,24$  кДж; 6)  $Q_p - Q_v = -2,48$  кДж; 7)  $\Delta H =$   
 $= 121,7$  кДж; 8)  $\Delta H = -46$  кДж/моль; 9)  $-1096$  кДж/моль;  
10)  $\Delta H = 16$  кДж; 11)  $\Delta H = 82,9$  кДж/моль; 12)  $\Delta H = -393,3$  кДж/моль;  
13)  $\Delta H = 1103$  кДж/моль; 14)  $\Delta H = 87,69$  кДж/моль;  
15)  $\Delta H = -430,09$  кДж/моль; 16)  $\Delta H = -984$  кДж/моль;  
17) выделяется,  $\Delta H = -427,6$  кДж; 18)  $\Delta H = 2005,2$  кДж;  
19)  $\Delta H = -777,3$  кДж; 20)  $\Delta H = -395,39$  кДж; 21)  $\Delta H =$   
 $= -439,2$  кДж/моль; 22)  $\Delta H = 8,2$  кДж; 23)  $\Delta H = -58$  кДж/моль;  
24)  $\Delta H = 12,7$  кДж/моль; 25) (а)  $\Delta H = -29,21$  кДж/моль;  
(б)  $\Delta H = -100,75$  кДж/моль; (в)  $\Delta H = -71,54$  кДж/моль;  
26)  $\Delta H = 1,9$  кДж/моль; 27)  $\Delta H = 44$  кДж/моль.

## «ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ»

5) (а)  $\Delta S = -161,9$  Дж/К; (б)  $\Delta S = -146$  Дж/К;  
 (в)  $\Delta S = 26,3$  Дж/К; 6)  $\Delta S = -282,8$  Дж/К; 7)  $\Delta S = 22,4$  Дж/К;  
 8)  $\Delta S = 0$  Дж/К; 9)  $\Delta S = -365,9$  Дж/К; 10)  $S = 230,2$  Дж/К;  
 11)  $V = 2000$  л; 12)  $\Delta S = 1,38$  Дж/К; 13)  $\Delta S = 0,12$  Дж/К;  
 14)  $\Delta S = 0,24$  Дж/К; 15)  $\Delta S = 54,1$  Дж/К; 16)  $\Delta S = 10,8$  Дж/К;  
 17)  $\Delta S = 604,6$  Дж/К; 18)  $\Delta S = 32,8$  Дж/К; 19)  $\Delta S = 1,86$  Дж/К;  
 20)  $\Delta S = 38,3$  Дж/К; 21)  $\Delta S = 1,44$  Дж/К; 22)  $\Delta S = -3$  Дж/К;  
 23)  $\Delta S = -103,4$  Дж/К; 24)  $\Delta S = 163,2$  Дж/К; 25)  $\Delta S = 176,6$  Дж/К.

## «ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ»

3)  $K_c = 40$ ; 4)  $K_c = 9$ ; 5)  $K_c = 0,02$ ; 6)  $K_c = 1,92$ ,  $C(\text{NO}_2) = 0,3$  моль/л,  $\alpha = 0,8$ ; 7)  $K_c = 0,23$ ,  $C(\text{NOCl}_2) = 0,09$  моль/л,  $C(\text{NO}) = 0,59$  моль/л; 8)  $K_c = 8$ ,  $C(\text{CO}) = 3$  моль/л;  
 9)  $K_c = 1,14 \cdot 10^{-4}$ ; 10)  $K_c = 1,2 \cdot 10^{-4}$ ,  $C(\text{H}_2\text{O}) = 4,09$  моль/л,  $C(\text{NO}) = 4,94$  моль/л,  $C(\text{NH}_3) = 1,08$  моль/л; 11)  $K_c = 6,33 \cdot 10^5$ ,  $C(\text{H}_2) = 5,14$  моль/л,  $C(\text{NF}_3) = 1,08$  моль/л,  $C(\text{HF}) = 8,16$  моль/л;  
 12)  $K_c = 0,634$ ,  $K_p = 2,63$  (МПа); 13) (а)  $K_c = 0,1$ ; (б)  $K_p = 10$ ;  
 14)  $C(\text{CO}) = C(\text{H}_2\text{O}) = 0,24$  моль/л,  $C(\text{CO}_2) = 0,16$  моль/л,  $C(\text{H}_2) = 0,36$  моль/л; 15)  $C(\text{SO}_3) = 0,04$  моль/л,  $C(\text{O}_2) = 0,01$  моль/л; 16)  $C(\text{CO}) = 0,06$  моль/л,  $C(\text{CO}_2) = 0,03$  моль/л;  
 17)  $C(\text{NO}) = 0,0363$  моль/л,  $C(\text{O}_2) = 0,0232$  моль/л;  
 18)  $K_p = 79,3$  (атм); 19)  $C(\text{SO}_2) = 0,8$  моль/л,  $C(\text{O}_2) = 0,4$  моль/л,  $C(\text{SO}_3) = 3,2$  моль/л,  $P = 2,229 \cdot 10^5$  Па,  $K_p = 7,9 \cdot 10^{-4}$  (Па<sup>-1</sup>);  
 20)  $K_c = 93,32$ ; 21)  $K_p = 4,03 \cdot 10^{24}$ ,  $K_c = 1,61 \cdot 10^{12}$ ,  $K_c = 6,3 \cdot 10^{-91}$ ,  $K_p = 2,58 \cdot 10^{-38}$ ; 22)  $\alpha = 80\%$ ; 23)  $K_c = 1,46$  (атм); 24)  $P = 6,57$  атм;  
 25)  $P = 230,7$  атм; 26)  $P(\text{Br}_2) = 0,063$  атм,  $P(\text{IBr}) = 0,101$  атм;  
 28)  $K_p = 8,9 \cdot 10^{-7}$  Па; 30)  $K_c = 496$ ; 31)  $C(\text{CO}) = C(\text{H}_2\text{O}) = 0,68$  моль/л,  $C(\text{H}_2) = C(\text{CO}_2) = 0,32$  моль/л.

## «ТЕРМОДИНАМИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

6)  $> 8,2$ .

**«ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА»**

- 2)  $\alpha = 21 \%$ ; 3)  $k = 0,1 \text{ л}^2/\text{моль} \cdot \text{мин}$ ; 6)  $k = 0,0115 \text{ мин}^{-1}$ ;  
7)  $C = 0,407 \text{ моль/л}$ ; 8)  $x = 80 \%$ ; 10)  $\tau = 35 \text{ мин}$ ;  
11)  $\tau = 2,2 \text{ мин}$ .

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие.....	3
Задания к семинарам по теме «Первое начало термодинамики» .....	4
Задания к семинарам по теме «Термохимия» .....	9
Задания к семинарам по теме «Второе начало термодинамики».....	14
Задания к семинарам по теме «Термодинамические потенциалы» .....	18
Задания к семинарам по теме «Химическое равновесие» .....	20
Задания к семинарам по теме «Термодинамика электрохимических процессов» .....	27
Задания к семинарам по теме «Химическая кинетика» .....	31
Ответы к задачам .....	34

*Учебное издание*

# **ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ**

**Составители:** **Гаврилова** Людмила Яковлевна  
**Волкова** Надежда Евгеньевна  
**Черепанов** Владимир Александрович

**Редактор** *И. Ю. Плотникова*  
**Верстка** *Е. В. Суховой*

Подписано в печать 27.07.2015. Формат 60×84 1/16.  
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 2,33.  
Уч.-изд. л. 1,6. Тираж 120 экз. Заказ 314.

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: [rio@urfu.ru](mailto:rio@urfu.ru)

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: 8 (343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: 8 (343) 358-93-06  
E-mail: [press-urfu@mail.ru](mailto:press-urfu@mail.ru)

*Для заметок*